doi:10.13866/j.azr.2018.06.18

1982—2015年可可西里NDVI变化特征及其气候响应①

陈登魁[1]， 马 超[1,2]， 王夏冰[1]， 刘 畅[1]

（1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院，河南 焦作 454000；
2. 河南理工大学矿山空间信息国家测绘与地理信息局重点实验室，河南 焦作 454000）

摘 要： 利用最新的GIMMS NDVI 3g+数据，辅以MVC、趋势分析、变异系数及偏相关分析等方法，探讨了1982—2015年可可西里世界自然文化遗产保护区NDVI时空分布特征及变化趋势，并对其驱动因素进行分析。研究发现：① 由于海拔引起的水热条件的变化，该研究区NDVI由西北向东南逐渐增大；② 34 a来研究区NDVI具有明显增长趋势，核心区NDVI增速为0.69%·$(10a)^{-1}$，比缓冲区NDVI增速高出0.41%·$(10a)^{-1}$；③ 研究区NDVI改善面积远大于退化面积，总体上呈缓慢上升趋势，其中核心区NDVI呈改善和退化趋势的面积分别占47.92%和3.00%，缓冲区中有65.70%的面积基本不变；④ 34 a间研究区NDVI相对较低波动变化和中等波动变化共占全区的75.54%，主要分布在核心区的中部和南部以及缓冲区大部分区域；⑤ 相关和偏相关分析结果表明，该研究区NDVI受温度和降水共同影响，与降水相比，温度是影响该研究区NDVI变化的主要因素。

关键词： GIMMS NDVI 3g+；趋势分析；偏相关分析；可可西里世界自然文化遗产保护区

青藏高原以其巨大的山体效应造就了亚洲中部腹地的干旱核心和全球唯一的自然地域格局[1-2]。可可西里世界自然文化遗产保护区位于青藏高原北部，其海拔4 500~5 200 m，低温少雨，是世界著名的寒区旱区及高寒荒漠过渡区，其极端脆弱的植被生态环境对全球变化响应极为敏感[3-4]。

植被是连接大气、水体和土壤的纽带，是构成陆地生态系统的主体[5-7]。利用长时序全球归一化植被指数数据集的波动，探视全球化气候变化规律，对评估气候变化导致的生态风险，研究陆地生态系统的演变过程具有重要意义[8]。利用GIMMS NDVI g和GIMMS NDVI 3g研究植被动态响应气候变化由来已久。例如，Shen等利用1982—2006年GIMMS NDVI g数据集及气候资料，分析了气候变化对中国草地的影响[9]。Zhang等以1982—2006年GIMMS NDVI g数据和气象数据为基础，对气候变化下的青藏高原植被进行了分析[10]。周锡饮等利用GIMMS NDVI g数据对蒙古高原地区1981—2006年植被覆盖的时空变化进行了研究，并从气候变化和人类活动的角度，分析了植被覆盖变化的原因[11]。郭鹏等[12]利用1982—2006年的GIMMS NDVI g数据研究了新疆的植被覆盖动态变化情况，并结合气候等相关因素综合分析了其时空分布特征。与老版本的GIMMS NDVI g数据集相比，GIMMS NDVI 3g数据集在检测地面信息方面则更加敏感[13]。其中，Du等[14]使用全球库存建模和制图研究归一化差异植被指数（NDVI）版本NDVI 3g数据集，分析了青藏高原1982年以来14个渐近周期的NDVI季节分量趋势及其与气候因子的关系。王茜等利用1982—2012年的GIMMS NDVI 3g数据，研究了我国NDVI时空分布状况及空间变化率，同时选用双变量相关与偏相关方法，分析了我国不同植被类型区域NDVI与6种气候因子的相关性[15]。韩辉邦等基于1982—2013年GIMMS NDVI 3g数据集及青海50个气象观测站同期气象资料，利用趋势分析、相关分析方法，对青海省植被覆盖时空变化特征及其驱动因子进行了分析[16]。虽然这些研究利用GIMMS NDVI数据噪声小、具有较高的时间分辨率的特点做了

① 收稿日期：2018-04-17； 修订日期：2018-07-05
基金项目：国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目（U1261206，U1261106）；河南理工大学创新型科研团队（T2018-4）
作者简介：陈登魁（1991-），男，硕士在读，研究方向为生态环境遥感
通讯作者：马超. E-mail：mac@hpu.edu.cn

大量的工作,但受其数据时长的限制,未能对相应的研究做更加缜密的分析。

有许多学者关注可可西里生态环境的变迁,但对该地区 NDVI 变化的长期监测、空间分布、NDVI 变化与气候的响应及人类活动对 NDVI 变化影响等方面的研究较少。本文采用 1982—2015 年最新的 GIMMS NDVI 3g + 数据集,结合与之同期的气候数据,对可可西里保护区长时序 NDVI 时空变化及气候因子进行了深入的研究,以期揭示该区域 NDVI 变化的时空分布和变化趋势,以及该区域 NDVI 变化与气候响应的规律,可为世界自然遗产地的保护及管理提供参考。

1 研究区与研究数据

1.1 研究区概况

可可西里蒙古语意为“青色的山梁”,位于青海省玉树自治州治多县、曲麻莱县境内,地域涵盖可可西里国家级自然保护区全部和三江源国家级自然保护区部分。绵亘逾 500 km 的昆仑山、可可西里山和乌兰乌拉山勾勒出的三山间两盆,核心区面积达 3.73×10^{6} hm^2,缓冲区面积 2.29×10^{6} hm^2,平均海拔 4 500 m 以上(图 1)。可可西里气候干旱寒冷,具有典型的高寒气候特征,其年均气温 −6.9 ~ −2.8 ℃,年均降水量 173 ~ 495 mm。可可西里也是最年轻的高原冻土区,有 74 种脊椎动物,是藏羚羊、藏野牦牛、藏野驴、藏原羚、狼和棕熊的栖息地,其中生活的藏羚羊占到了全球总数的 40%。可可西里地处青藏高原高寒草甸高寒荒漠的过渡区,主要植被类型为高寒草原和高寒草甸,分布有较大面积的高山冰缘植被。由于严酷的气候条件,土壤沙质、贫瘠,植物群落结构简单,生长季短,生产力

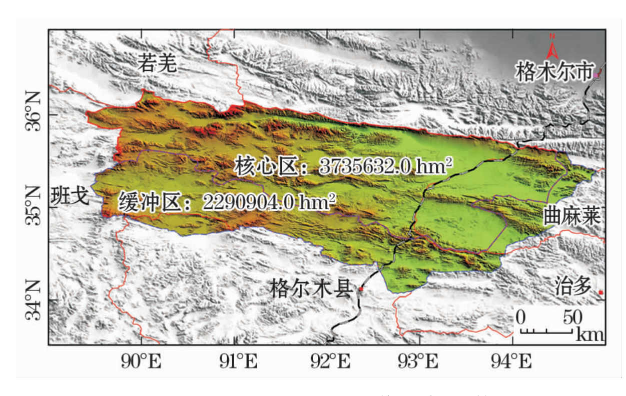


图 1 可可西里的地理位置与地势

Fig. 1 Geographical location and topography of Hoh Xil

低下,植被易受破坏却不易恢复。

1.2 研究数据

最新发布的 NetCDF 格式的 GIMMS NDVI 数据是 NDVI 3g(1981 − 07 − 01—2012 − 12 − 31)数据的加长版,来源于 ECOCAST 网站(https://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/3g.v1/),时序延长至 2015 年,时长达 35 a(1981 − 07 − 01—2015 − 12 − 31),空间分辨率为 0.083° × 0.083°,时间分辨率为 15 d[16]。该 NDVI 数据最初是由美国航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)全球监测与模型研究(GIMMS)研究组采用国际通用的最大值合成(maximum value composites, MVC)法合成的数据集[17],投影方式为 Albers Conical Equal Area 和经纬度投影两种,其原始数据源于 6 颗 NOAA 卫星(NOAA − 7,9,11,14,16,17),经过辐射校正和几何粗校正的 NOAA-AVHRR,再对每日、每轨图像进行几何精校正、除坏线、除云等处理,进而进行 NDVI 计算及合成[18−19]。因此,该数据相较于其他的 NDVI 数据,精度更高、误差更小,适用于植被覆盖变化的长期监测。本文所使用的数据是经过 IDL 程序数据格式转换、影像裁剪、掩膜处理等预处理过程,将原始的全球 NetCDF 格式数据集制作成为 tiff 格式的可可西里地区数据集。其中,气象数据来源于中国气象科学数据共享网(http://cdc.cma.gov.cn)1982—2015 年平均气温和降水数据。

2 研究方法

2.1 NDVI 最大值合成

可可西里世界自然文化遗产保护区处于青藏高原腹地的高海拔地区,NDVI 值较低,为了准确反映该地区 NDVI 的空间分布及变化特征,采用最大值合成法 MVC 生成月 NDVI 最大值,有效减少了来自云、气溶胶、云阴影、视角以及太阳高度角的影响[20−21]。在本文研究中,以 15 d 的 NDVI 数据为基础,采用半月合成法获取月度最大值 NDVI,公式为:

$$mNDVI_j = \mathop{Max}_{j=1}^{12}[\,NDVI\ 3g(a), NDVI\ 3g(b)\,] \quad (1)$$

式中:j 表示月序号,取值范围为 1 ~ 12;$mNDVIj$ 表示第 j 月的最大 NDVI 值;NDVI 3g(a),NDVI 3g(b)分别表示第 j 月上半月和下半月的 NDVI 值。由此获得 1—12 月的 NDVI 年内数据。根据 NDVI 年内

数据可以获得植物生长的周期变化。

同样采用 MVC 方法,在月度最大值合成的基础上对 NDVI 数据进行年度最大值合成[22],其公如下:

$$aNDVI_i = \mathrm{Max}(mNDVI_1, mNDVI_2, \cdots, mNDVI_{12}, \quad (i = 1982, 1983, \cdots 2015) \tag{2}$$

从而得到 NDVI 最大值年际数据,该数据能反映 NDVI 的年际变化规律。

2.2 NDVI 年际变化趋势

基于像元的 NDVI 变化趋势,通过一元线性回归分析,得出不同时间 NDVI 随时间变化的趋势,即 NDVI 的年际变化[23-24],计算公式为:

$$\theta_{\mathrm{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^{n}(i \times \mathrm{NDVI}_i) - \sum_{i=1}^{n} i \sum_{i=1}^{n} \mathrm{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^{n} i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} i\right)^2} \tag{3}$$

式中:n 表示研究的累积年数;θ_{slope} 表示年最大 NDVI 在 n 年的变化趋势值;NDVI_i 表示第 i 年研究区年最大 NDVI 值。当 $\theta_{\mathrm{slope}} > 0$ 时,表示所在像元的年最大 NDVI 值随时间呈上升趋势;当 $\theta_{\mathrm{slope}} < 0$ 时,表示所在像元的年最大值 NDVI 随时间呈下降趋势;当 $\theta_{\mathrm{slope}} = 0$ 时,表示所在像元的年最大 NDVI 未随时间变化。

2.3 NDVI 变异系数

变异系数是描述随机变量离散程度的统计量,用以分析 NDVI 空间格局与空间分异规律[5]。本文采用逐像元计算 NDVI 变异系数的方法,计算公式为:

$$C_v = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{4}$$

式中:C_v 表示 NDVI 的变异系数;n 表示研究的累积年数;x_i 表示第 i 年年最大 NDVI;$\bar{x}$ 表示 1982—2015 年年最大 NDVI 平均值。C_v 值越小,表明 NDVI 分布的离散程度越小;C_v 值越大,表明 NDVI 分布的离散程度就越大。

2.4 NDVI 相关与偏相关系数

气候变化是影响该研究区 NDVI 变化的主要因素之一。因此,通过逐像元计算年最大 NDVI 与年均气温和降雨之间的相关系数,来表征气候因子与 NDVI 变化的相关程度[25]。其计算公式为:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \tag{5}$$

式中:R_{xy} 表示 x、y 两变量的相关系数;x_i 与 y_i 分别表示 x、y 两变量第 i 年的值;$\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别表示两变量 n 年的平均值;n 表示研究的累积年数。在简单线性相关计算的基础上,可进一步导出偏相关系数,公式如下:

$$R_{xy,z} = \frac{R_{xy} - R_{xz}R_{yz}}{\sqrt{(1 - R_{xz}^2)}\sqrt{(1 - R_{yz}^2)}} \tag{6}$$

式中:$R_{xy,z}$ 为自变量 z 固定后因变量 x 与自变量 y 的偏相关系数。

3 结果与分析

3.1 NDVI 空间分布特征

参照已有的研究[26],对 34 a 可可西里世界自然文化遗产保护区中核心区和缓冲区(以下分别简称"核心区"和"缓冲区")年最大 NDVI 分别做平均值制图,得到研究区的 NDVI 分布特征(图 2)。

该研究区的西北以昆仑山脉为界,地势高峻,东南地势相对平缓[27]。如图 2 所示:研究区 NDVI 空间分布的差异性显著,青藏公路以西地区为"可可西里藏北无人区"的一部分,其 NDVI 值在 -0.30 ~ 0.30,而青藏公路以东地势平缓,NDVI 值相对较高,在 0.1 ~ 0.4。NDVI 由西北向东南随海拔的降低而逐渐递增,该结论与张颖等[28]的研究结果一致;NDVI 值为 -0.30 的像元为水域,以深色表示,其由西向东,由北向南,在核心区中分别为:可可西里湖、卓乃湖、多尔改湖、库赛湖,在缓冲区中分别为:西金乌兰湖、乌兰乌拉湖。

3.2 NDVI 年际变化规律

分别对核心区和缓冲区 1982—2015 年最大 NDVI 均值进行分析,获得年最大 NDVI 均值分布结果(图 3)。

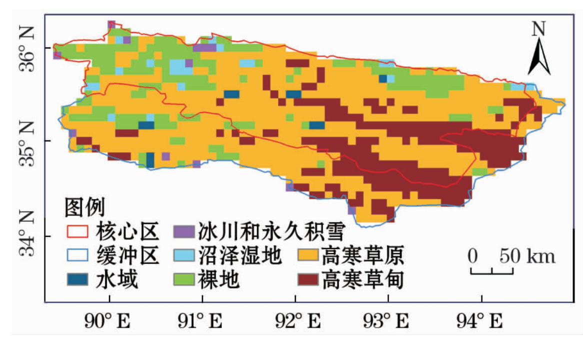


图 2 研究区 34 a 年最大 NDVI 平均值空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the average of annual maximum NDVI in 34 years

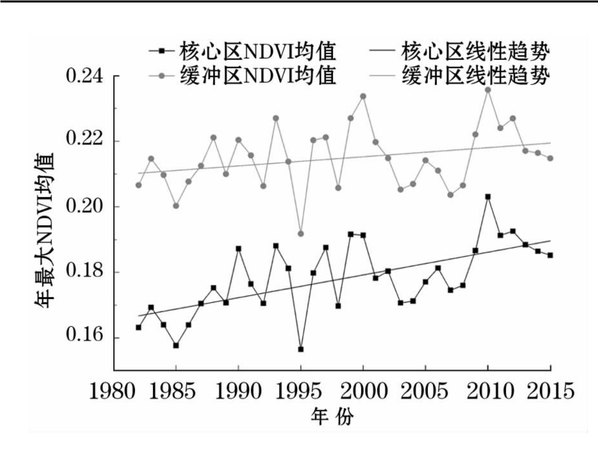


图 3　研究区 34 a 年最大 NDVI 均值变化趋势

Fig. 3　Change trend of the average of annual maximum NDVI in the study area in 34 years

由图 3 可知:核心区年最大 NDVI 均值比缓冲区低 0.037 0;年最大 NDVI 从 1982—2015 年整体呈上升趋势,其中核心区年最大 NDVI 均值在 34 a 间的增速为 $6.930\ 5\times10^{-4}\ a^{-1}$,而缓冲区年最大 NDVI 均值的增速为 $2.782\ 6\times10^{-4}\ a^{-1}$,则核心区年最大 NDVI 的增长速率约是缓冲区的 2.49 倍。34 a 间核心区与缓冲区的 NDVI 均值波动基本一致,最小值均出现在 1995 年,分别为 0.156 5 和 0.191 8;最大值均出现在 2010 年,分别为 0.203 1 和 0.235 7。其中,1982—2000 年整体呈上升趋势,2000—2007 年整体呈下降趋势,2007—2010 年快速上升至最大值,之后持续下降至 2015 年。

3.3　NDVI 年际变化分析

根据公式(3),通过一元线性回归对年最大 NDVI 数据进行逐像元分析,获得逐像元回归曲线斜率 θ_{slope} 图像(图 4)。参照已有的研究[29],根据 θ_{slope} 将研究区中的 NDVI 变化分为 5 个等级,即严重退化、轻微退化、基本不变、轻微改善和明显改善(表 1)。

表 1　34 a NDVI 年际变化趋势统计

Tab. 1　Interannual variation trend of NDVI in 34 years

变化情况	θ_{slope} 变化范围	核心区比例/%	核心区面积/km²	缓冲区比例/%	缓冲区面积/km²
严重退化	$\theta_{slope}\le-0.002\ 0$	0.64	236.43	0.79	182.07
轻微退化	$-0.002\ 0<\theta_{slope}\le-0.000\ 7$	2.36	874.68	9.23	2 124.01
基本不变	$-0.000\ 7<\theta_{slope}\le0.000\ 7$	49.20	18 204.48	65.70	15 110.81
轻微改善	$0.000\ 7<\theta_{slope}\le0.002\ 0$	44.09	16 313.08	22.69	5 218.00
明显改善	$\theta_{slope}>0.002\ 0$	3.83	1 418.54	1.58	364.11
总计		100	37 000	100	23 000

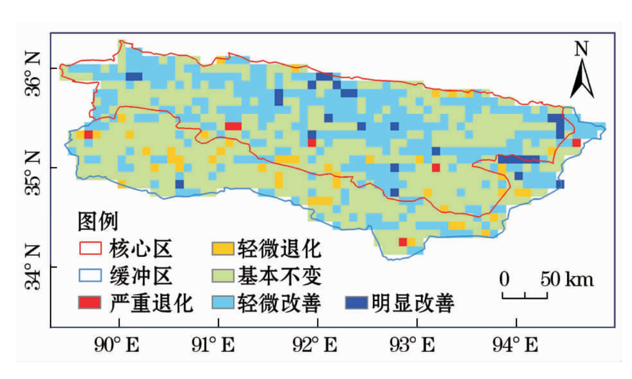


图 4　研究区 1982—2015 年 NDVI 年际斜率变化

Fig. 4　Variation of interannual slope of NDVI in the study area during the period of 1982 – 2015

分析可得:(1) NDVI 呈增长趋势的有23 314.73 km²,占研究区面积的 36.10%;呈基本不变趋势的有 33 315.30 km²,占研究区面积的57.45%;呈减少趋势的有 3 417.18 km²,占研究区面积的 6.51%。

(2)研究区中 NDVI 年际变化呈增长趋势的面积约是呈减少区域面积的 6.82 倍;NDVI 年际变化呈增长的区域主要分布在核心区的中部和北部;缓冲区的大部分区域其年际变化趋势基本不变。

3.4　NDVI 变异系数分析

根据公式(4),逐像元计算 1982—2015 年核心区及缓冲区 NDVI 的变异系数 C_v,并根据 C_v 的大小将其分为 5 个等级[30]:低波动变化、相对较低波动变化、中等波动变化、相对较高波动变化和高波动变化(表 2),核心区和缓冲区 NDVI 变异系数如图 5。

由图 5 可以看出,变异系数反映的 NDVI 波动规律是:相对较低波动占比最高,中等波动次之,低波动主要为水域;高波动、相对较高波动及中等波动的区域主要分布在核心区的北部;相对较低波动的区域主要分布在研究区的东南部;低波动变化的区域所占面积最小,其位置分别对应着湖泊和雪山,地形地貌对 NDVI 的离散程度具有一定的影响。

3.5　NDVI 与气候因子相关性分析

在全球变暖的背景下[31],研究区 1982—2015 年的增温趋势显著(图 6a 和图 6b),与此同时,研究

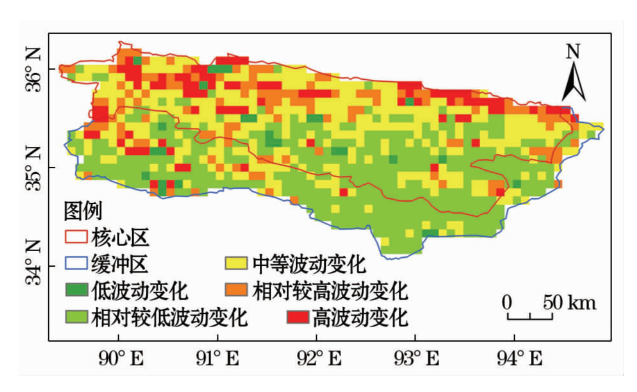


图 5 1982—2015 年研究区年最大 NDVI 变异系数

Fig. 5 Variable coefficient of annual maximum NDVI in the study area during the period of 1982 – 2015

表 2 研究区 34 a 年最大 NDVI 的变异系数

Tab. 2 Variable coefficient of annual maximum NDVI in the study area in 34 years

变异程度	*Cv* 的变化范围	占核心区面积比例/%	占缓冲区面积比例/%
低波动变化	$Cv < 0.05$	8.31	5.63
相对较低波动变化	$0.05 < Cv \leqslant 0.10$	36.10	62.54
中等波动变化	$0.10 < Cv \leqslant 0.15$	32.43	20.00
相对较高波动变化	$0.15 < Cv \leqslant 0.20$	13.10	7.04
高波动变化	$Cv > 0.20$	10.06	4.79

区的降水量整体也呈增加趋势(图 6c、图 6d)。由图 6 可得,核心区年平均气温的上升速率为 0.056 ℃ · a^{-1},比缓冲区年均气温的上升速率低 0.01 ℃ · a^{-1};而核心区年降水量的增加速率为 3.67 mm · a^{-1},比缓冲区年降水量的增加速率高出 0.25 mm · a^{-1}。

依据公式(5),逐像元计算 1982—2015 年年最大 NDVI 与年均气温和降水的相关系数,获得相关系数图(图 7 和图 8),分析可得:

(1) 年最大 NDVI 与年均气温和降水的相关系数分别为 0.248 和 0.191,其中,核心区 NDVI 与其气温和降水的相关系数分别为 0.303 和 0.230,缓冲区 NDVI 与其气温和降水相关系数分别为 0.158 和 0.126。

(2) 年最大 NDVI 与气温和降水成正相关的区域主要分布在核心区的中部和北部以及缓冲区南部地区,其核心区和缓冲区中 NDVI 与年均气温和降水量的相关性统计见表 3。

进一步对年最大 NDVI 与年均气温和降水量进行偏相关分析,获得其偏相关系数图(图 9 和图 10),分析可得:

(1) 年最大 NDVI 与气温和降水的平均偏相关

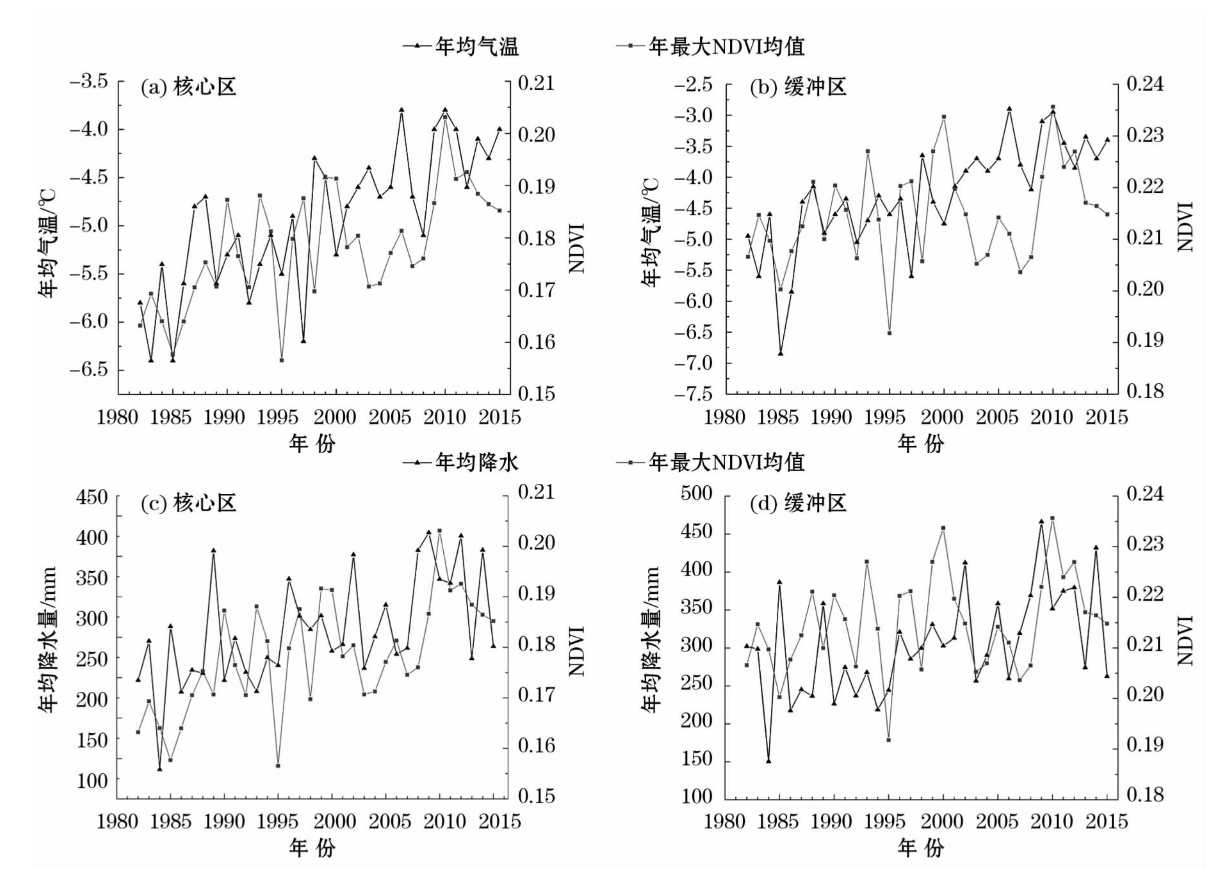


图 6 1982—2015 年研究区年 NDVI 均值与气候因子的相关性

Fig. 6 The correlation between NDVI and climate factors in the study area during the period of 1982 – 2015

表 3　研究区 NDVI 与气候因子的相关性统计

Tab. 3　Correlation between NDVI and climatic factors in the study area

相关程度	NDVI 与年均气温		NDVI 与年均降水	
	核心区比例/%	缓冲区比例/%	核心区比例/%	缓冲区比例/%
非常显著负相关	1.12	3.96	0.64	20.32
显著负相关	7.51	18.21	13.42	1.06
不相关	8.79	12.12	6.23	15.02
显著正相关	35.14	39.31	47.60	47.50
非常显著正相关	47.44	26.40	32.11	16.10

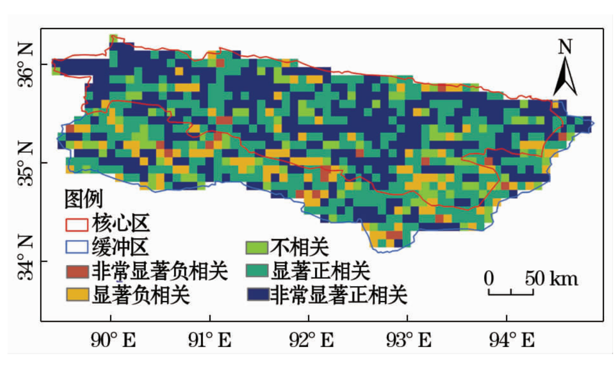


图 7　研究区 NDVI 与气温的相关性

Fig. 7　The correlation between NDVI and temperature in the study area

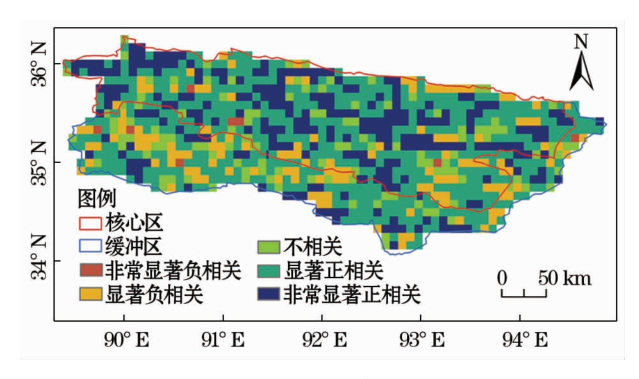


图 8　研究区 NDVI 与降水量的相关性

Fig. 8　The correlation between NDVI and precipitation in the study area

系数分别为 0.420 和 0.311,其中核心区 NDVI 与其气温和降水的平均偏相关系数分别为 0.523 和 0.374,缓冲区 NDVI 与其气温和降水的平均偏相关系数分别为 0.257 和 0.207。

(2) 年最大 NDVI 与气温和降水呈正相关区域分别占研究区的 79.20% 和 74.93%,其中核心区和缓冲区中 NDVI 与气温成正相关的区域分别占 52.64% 和 26.57%,而与降水成正相关的区域分别占 49.06% 和 25.87%。

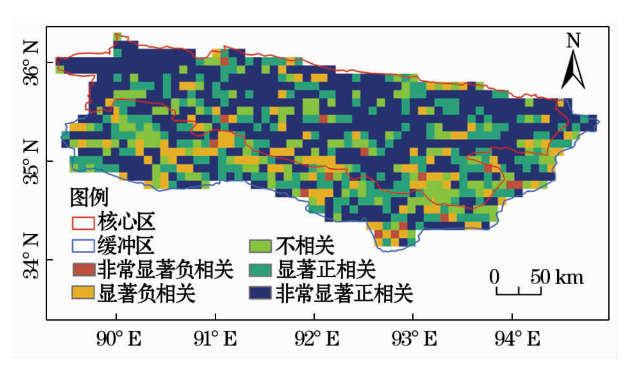


图 9　研究区 NDVI 与气温的偏相关性

Fig. 9　The partial correlation between NDVI and temperature in the study area

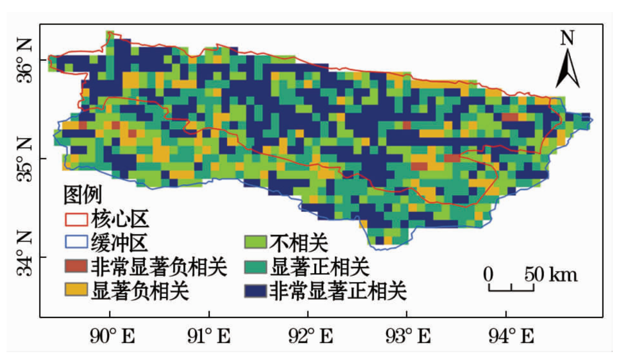


图 10　研究区 NDVI 与降水的偏相关性

Fig. 10　The partial correlation between NDVI and precipitation in the study area

4　结 论

(1) NDVI 均值年际分析表明:研究区 NDVI 的空间分布特征与高海拔影响下的水热特征高度一致,即从东南向西北海拔逐渐升高,气温逐渐降低而降水逐渐减少,其植被类型则体现出由“高寒草甸”向“高寒草原”进而向“高寒荒漠”的演替过程。

(2) NDVI 年际变化规律:1982—2015 年研究区 NDVI 在 34 a 间整体呈增长趋势,但有波动。其间,在 1995 年出现最小值,在 2010 年出现最大值,其中核心区 NDVI 增速为 0.69% · $(10a)^{-1}$,比缓冲区 NDVI 增速高出 0.41% · $(10a)^{-1}$。

(3) 趋势分析表明:研究区 NDVI 改善面积远大于退化面积,总体上呈缓慢改善趋势,其中核心区 NDVI 呈改善和退化趋势的面积分别占 47.92% 和 3.00%,缓冲区中有 65.70% 的面积基本不变。

(4) 变异系数分析表明:34 a 间研究区 NDVI 相对较低波动变化和中等波动变化共占全区的 75.54%,主要分布在核心区的中部和南部以及缓冲区大部分区域。

（5）气候相关性分析表明：NDVI 与年均气温的相关性相较于年均降水，其相关程度更高，NDVI 与年均气温的平均相关系数比 NDVI 与降水的平均相关系数高 0.057。偏相关分析同样表明，NDVI 与年均气温的相关程度高于降水。可见，温度是影响研究区 NDVI 变化的主要因素。

参考文献（References）：

〔1〕 郑度，李炳元. 青藏高原地理环境研究进展〔J〕. 地理科学，1999，19（4）：295－302.〔Zheng Du，Li Bingyuan. Research progress on the geographical environment of the Qinghai-Xizang Plateau〔J〕. Scientia Geographica Sinica，1999，19（4）：295－302.〕

〔2〕 汤懋苍，江灏，柳艳香，等. 全球各类旱区的成因分析〔J〕. 中国沙漠，2002，22（1）：1－5.〔Tang Maocang，Jiang Hao，Liu Yanxiang，et al. Cause analysis of arid regions formation on the world〔J〕. Journal of Desert Research，2002，22（1）：1－5.〕

〔3〕 张宏. 极端干旱气候下盐化草甸植被净初级生产力对全球变化的响应〔J〕. 自然资源学报，2001，16（3）：216－220.〔Zhang Hong. Response of NPP of salinized meadow in hyper-arid area to global change〔J〕. Journal of Natural Resources，2001，16（3）：216－220.〕

〔4〕 Yang Y，Wu Q，Zhang P，et al. Stable isotopic evolutions of ground ice in permafrost of the Hoh Xil regions on the Qinghai-Tibet Plateau〔J〕. Quaternary International，2017，444（A）：182－190.

〔5〕 邓兴耀，姚俊强，刘志辉. 基于 GIMMS NDVI 的中亚干旱区植被覆盖时空变化〔J〕. 干旱区研究，2017，34（1）：10－19.〔Deng Xingyao，Yao Junqiang，Liu Zhihui. Spatiotemporal dynamic change of vegetation coverage in arid regions in central asia based on GIMMS〔J〕. Arid Zone Research，2017，34（1）：10－19.〕

〔6〕 姜红涛，塔西甫拉提·特依拜，阿尔达克·克里木，等. 艾比湖流域 NDVI 变化及其与降水、温度的关系〔J〕. 中国沙漠，2014，34（6）：1 678－1 684.〔Jiang Hongtao，Tashpolat Tiyip，Ardak Kelimu，et al. Responses of NDVI to the variation of precipitation and temperature in the Ebinur Lake Basin〔J〕. Journal of Desert Research，2014，34（6）：1 678－1 684.〕

〔7〕 赵健赟，彭军还. 基于 MODIS NDVI 的青海高原植被覆盖时空变化特征分析〔J〕. 干旱区资源与环境，2016，30（4）：67－73.〔Zhao Jianyun，Peng junhuan. Spatiotemporal variation of the vegetation coverage in Qinghai Plateau based on MODIS NDVI data〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment，2016，30（4）：67－73.〕

〔8〕 王昭生，黄玫，闫慧敏，等. 1982—2006 年加纳植被覆盖时空变化及其气候影响〔J〕. 地球信息科学学报，2015，17（1）：78－85.〔Wang Zhaosheng，Huang Mei，Yan Huimin，et al. Spatiotemporal variation of vegetation and climate impacts on it in Ghana from 1982 to 2006〔J〕. Journal of Geo-information Science，2015，17（1）：78－85.〕

〔9〕 Shen X，Liu B，Li G，et al. Impact of Climate Change on Temperate and Alpine Grasslands in China during 1982－2006〔J〕. Advances in Meteorology，2015，3：1－10.

〔10〕 Zhang L，Guo H，Wang C，et al. The long-term trends（1982－2006）in vegetation greenness of the alpine ecosystem in the Qinghai-Tibetan Plateau〔J〕. Environmental Earth Sciences，2014，72（6）：1 827－1 841.

〔11〕 周锡饮，师华定，王秀茹. 气候变化和人类活动对蒙古高原植被覆盖变化的影响〔J〕. 干旱区研究，2014，31（4）：604－610.〔Zhou Xiyin，Shi Huading，Wang Xiuru. Impact of climate change and human activities on vegetation coverage in the Mongolian Plateau〔J〕. Arid Zone Research，2014，31（4）：604－610.〕

〔12〕 郭鹏，徐丽萍. 基于 GIMMS-NDVI 的新疆植被覆盖时空变化〔J〕. 水土保持研究，2014，21（4）：97－100.〔Guo Peng，Xu Liping. Spatiotemporal variation of vegetation in Xinjiang based on GIMMS-NDVI〔J〕. Research of Soil and Water Conservation，2014，21（4）：97－100.〕

〔13〕 Chang Q，Zhang J，Jiao W，et al. A comparative analysis of the NDVI g and NDVI 3g in monitoring vegetation phenology changes in the Northern Hemisphere〔J〕. Geocarto International，2016，33（1）：1－20.

〔14〕 Du J，He P，Fang S，et al. Autumn NDVI contributes more and more to vegetation improvement in the growing season across the Tibetan Plateau〔J〕. International Journal of Digital Earth，2017，10（11）：1－20.

〔15〕 王茜，陈莹，阮玺睿，等. 1982—2012 年中国 NDVI 变化及其与气候因子的关系〔J〕. 草地学报，2017，25（4）：691－700.〔Wang Qian，Chen Ying，Ruan Xirui，et al. The changes of NDVI in China from 1982 to 2012 and its relationship with climatic factors〔J〕. Acta Agrestia Sinica，2017，25（4）：691－700.〕

〔16〕 韩辉邦，马明国，马守存，等. 近 30 a 青海省植被变化及其气候驱动因子分析〔J〕. 干旱区研究，2017，34（5）：1 164－1 174.〔Han Huibang，Ma Mingguo，Ma Shoucun，et al. Vegetation change and its driving climatic factors in Qinghai Province in recent 30 years〔J〕. Arid Zone Research，2017，34（5）：1 164－1 174.〕

〔17〕 赵紫薇. 1982—2013 年青藏高原植被动态变化时序分析〔J〕. 测绘科学，2017，42（6）：62－70.〔Zhao Ziwei. Temporal and spatial variation analysis of vegetation on the Tibetan Plateau from 1982 to 2013〔J〕. Science of Surveying and Mapping，2017，42（6）：62－70.〕

〔18〕 Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data〔J〕. International Journal of Remote Sensing，1986，7（11）：1 417－1 434.

〔19〕 Tucker C J，Pinzon J E，Brown M E，et al. An extended AVHRR 8 km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data〔J〕. International Journal of Remote Sensing，2010，26（20）：4 485－4 498.

〔20〕 刘斌，孙艳玲，王永财，等. 基于 SPOT/NDVI 华北地区植被变化动态监测与评价〔J〕. 干旱区资源与环境，2013，27（9）：98－103.〔Liu Bin，Sun Yanling，Wang Yongcai，et al. Monitoring and assessment of vegetation variation in North China based on SPOT/NDVI〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment，2013，27（9）：98－103.〕

〔21〕 杨艳丽，孙艳玲，王中良. 2000—2013 年海河流域植被覆盖的时空变化〔J〕. 干旱区资源与环境，2016，30（7）：65－70.〔Yang Yanli，Sun Yanling，Wang Zhongliang. The spatial-temporal variations of vegetation cover in the Haihe river basin from 2000 to 2013〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment，2016，30（7）：65－70.〕

〔22〕 刘少华，严登华，史晓亮，等. 中国植被 NDVI 与气候因子的年际变化及相关性研究〔J〕. 干旱区地理，2014，37（3）：480－489.〔Liu Shaohua，Yan Denghua，Shi Xiaoliang，et al. Inter-annu-

al variability of vegetation NDVI, accumulated temperature and precipitation andtheir corre〔J〕. Arid Land Geography, 2014, 37(3):480 – 489.〕

〔23〕 李净,刘红兵,李彩云,等. 基于 GIMMS 3g NDVI 的近 30 年中国北部植被生长季始期变化研究〔J〕. 地理科学,2017,37(4):620 – 629.〔Li Jing, Liu Hongbing, Li Caiyun, et al. Changes of green-up day of vegetation growing season based on GIMMS 3g NDVI in Northern China in recent 30 years〔J〕. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(4):620 – 629.〕

〔24〕 李辉霞,刘国华,傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究〔J〕. 生态学报,2011,31(19):5 495 – 5 504.〔Li Huixia, Liu Guohua, Fu Bojie. Response of vegetation to climate change and human activity on NDVI the Three-River Headwaters region〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19):5 495 – 5 504.〕

〔25〕 孟丹,李小娟,宫辉力,等. 京津冀地区 NDVI 变化及气候因子驱动分析〔J〕. 地球信息科学学报,2015,17(8):1 001 – 1 007.〔Meng Dan, Li Xiaojuan, Gong Huili, et al. Analysis of spatial-temporal change of NDVI and its climatic driving factors in Beijing-Tianjin-Hebei Metropolis Circle from 2001 to 2013〔J〕. Journal of Geo-information Science, 2015, 17(8):1 001 – 1 007.〕

〔26〕 李睿,朵海瑞,史林鹭,等. 可可西里 1970—2013 年气候变化特征及其对景观格局的影响〔J〕. 北京林业大学学报,2015,37(12):59 – 68.〔Li Rui, Duo Hairui, Shi Linlu, et al. Characteristics of climate change in Hoh Xil and its impact on landscape pattern during 1970 – 2013〔J〕. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(12):59 – 68.〕

〔27〕 Yao X, Liu S, Li L, et al. Spatial-temporal characteristics of lake area variations in Hoh Xil region from 1970 to 2011〔J〕. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(4):689 – 702.

〔28〕 张颖,章超斌,王钊齐,等. 三江源 1982—2012 年草地植被覆盖度动态及其对气候变化的响应〔J〕. 草业科学,2017,34(10):1 977 – 1 990.〔Zhang Ying, Zhang Chaobin, Wang Zhaoqi, et al. Spatiotemporal dynamics of grassland coverage in response to climate change from 1982 to 2012 in the Three Rivers Source Region, China〔J〕. Pratacultural Science, 2017, 34(10):1 977 – 1 990.〕

〔29〕 张君,延军平. 1982—2013 年陕西不同植被类型 NDVI 变化特征分析〔J〕. 干旱区资源与环境,2017,31(4):86 – 92.〔Zhang Jun, Yan Junping. Characteristics of NDVI changes under the different vegetation types in Shaanxi Province from 1982 to 2013〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(4):86 – 92.〕

〔30〕 刘洋,李诚志,刘志辉,等. 1982—2013 年基于 GIMMS-NDVI 的新疆植被覆盖时空变化〔J〕. 生态学报,2016,36(19):6 198 – 6 208.〔Liu Yang, Li Chengzhi, Liu Zhihui, et al. Assessment of spatio-temporal variations in vegetation cover in Xinjiang from 1982 to 2013 based on GIMMS-NDVI〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(19):6 198 – 6 208.〕

〔31〕 Tong C, Wu Q. The effect of climate warming on the Qinghai-Tibet Highway, China〔J〕. Cold Regions Science & Technology, 1996, 24(1):101 – 106.

Variation of NDVI and Its Response to Climate Change in Hoh Xil during the Period of 1982 – 2015

CHEN Deng-kui[1], MA Chao[1,2], WANG Xia-bing[1], LIU Chang[1]

(1. *College of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo* 454000, *Henan, China*;
2. *Key Laboratory of State Bureau of Surveying and Mapping of Mine Spatial Information Technology, School of Surveying and Mapping Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo* 454000, *Henan, China*)

Abstract: In this study, the latest data of GIMMS NDVI 3g plus, MVC, trend analysis, coefficient of variation and partial correlation analysis were used to study the spatial and temporal distribution and change trend of NDVI in the Hoh Xil Natural and Cultural Heritage Reserve in Qinghai Province during the period of 1982 – 2015 and to analyze the driving factors. The results showed that: ① The NDVI in the study area increased gradually from northwest to southeast due to the change of water and heat conditions caused by altitude; ② During the period of 1982 – 2015, the NDVI in the study area was in an obvious increase trend, the increase rate of NDVI in the core was 0.69% · $(10a)^{-1}$, and it was 0.41% · $(10a)^{-1}$ higher than that in the buffer area; ③ The area of the regions with NDVI improvement in the study area was much larger than that with NDVI degeneration, and the NDVI was holistically in a slow increase trend. The areas of the regions with NDVI improvement and NDVI degeneration in the core accounted for 47.92% and 3.00% respectively, 65.70% area in the buffer area was basically maintained; ④ The area of the regions with relatively low and moderate NDVI fluctuation in the 34 years accounted for 75.54% of the total, and these regions were mainly distributed in the central and southern parts of the core and most areas of the buffer zone; ⑤ The results of correlation and partial correlation analysis showed that the NDVI in the study area was affected by temperature and precipitation, especially by temperature.

Key words: GIMMS NDVI 3g Plus; trend analysis; partial correlation analysis; Hoh Xil World Natural and Cultural Heritage Reserve;